

Title	Superconducting nanowire single-photon detectors integrated with composite optical systems for quantum information
Author(s)	和木, 健太郎
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/69611">https://hdl.handle.net/11094/69611</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 和 木 健 太 朗 )	
論文題名	Superconducting nanowire single-photon detectors integrated with composite optical systems for quantum information (量子情報のための複合的な光学システムと一体化した超伝導ナノワイヤ単一光子検出器)
論文内容の要旨	
<p>量子情報技術において、単一光子検出器は必要不可欠な要素であり、高検出効率、低暗計数、高時間分解能、高速応答が求められる。2001年に提案された超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SNSPD)は優れた性能を有することから、既に様々な量子情報の実験に応用され大きな影響を与えている。SNSPDが将来の量子情報技術に不可欠な魅力的な新たな機能を獲得するために、研究が行われており、このために効果的な手法が、本論文で提示する複合的な光学システムとSNSPDの一体化である。</p> <p>はじめに我々は光学多層膜と一体化したSNSPDの開発に着目した。これまでSNSPDは、誘電体を周期的に積層し、共振器構造にすることで高検出効率を実現してきたが、限られた波長でしか高い光吸収率を得られず、光吸収率の波長特性を柔軟に設計することができなかった。我々は、非周期的な誘電体多層膜と一体化したSNSPDを提案し、650-900 nmと450-600 nmの波長域で高い検出効率をもつ2つのSNSPDを実証した。さらに、1550 nmよりも長波長の光吸収を遮断可能なSNSPDも設計した。</p> <p>光導波路(WG)と一体化したSNSPD(WG-SNSPD)は、ナノフォトニック回路と直接集積化できる検出器として盛んに研究されている。WG-SNSPDは、検出効率が波長1550nmで約90%、暗計数が数mHzであるなど、高性能であることが実証されている。しかし、大規模なオンチップ量子情報システムを実現するためには、WG-SNSPDの歩留まりが十分ではなく、WG-SNSPDとナノフォトニック回路の集積化の報告例は少ない。我々は、高品質なNbTiN WG-SNSPDの開発を行い、作製プロセスを確立することで、従来型NbTiN SNSPDと同等な性能のWG-SNSPDを実現した。</p> <p>最後にグレーティングカップラ、2×2ビームスプリッタ、WG-SNSPDを集積化した量子フォトニック回路を開発し、一光子干渉と二光子干渉の効果をオンチップで観測することに成功した。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 和 木 健 太 朗 )			
	(職)		氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授	井元 信之
	副 査	教 授	芦田 昌明
	副 査	教 授	松本 和彦
	副 査	特任准教授	早坂 和弘 (クロスアポイントメント : Nict・研究マネージャー)

## 論文審査の結果の要旨

既の実証実験が行われている量子暗号通信の次なる課題は、より遠く離れた送受信者間で、より高速に共通の秘密鍵を生成することである。このとき重要となるのが、光ファイバーの通信波長帯（波長1.55  $\mu\text{m}$ 近辺）の光子を高量子効率で検出する低暗計数率かつ低ジッタの光子検出器の実現である。そのような光子検出器として現在最も有望視されているのがSuperconducting nanowire single-photon detector (SNSPD)である。たとえば従来の光電子増倍管は通信波長帯における量子効率は2%と極めて低く、暗計数率も20万ヘルツと大きく、ジッタも300psと大きい。より新しい素子である化合物半導体のなだれ増倍光子検出器はもう少し性能が良く、それぞれ25%、2000ヘルツ、200psである。これに対し最も新しいSNSPDはそれぞれ90%、100ヘルツ、100psと、遙かに高性能である。このようなSNSPDは研究用途として使われているが、より広く用いられるためには(1)広帯域化・狭帯域化への柔軟な対応、(2)オンチップ化、(3)光導波素子との集積化が課題と認識されている。

本博士論文は「複合的な光学システムとSNSPDの一体化」を目指し、上記(1)(2)(3)の課題に対応してそれぞれ(1)非周期的誘電体多層膜とSNSPDの一体化、(2)ナノフォトニック回路とSNSPDの一体化および(3)光導波路とSNSPDの一体化を設計段階から自前での作り込みまで行い、評価実験まで行うという「新しいナノデバイスのものづくりと評価」を行った研究についての博士論文である。根気の要る研究を続けた結果、結論的には「周期がチャープした誘電体多層膜による柔軟な波長特性が設計可能な手法」を確立し、実際に「波長650-900 nmという広帯域で高い光吸収率を示すSNSPD」を設計し、さらに「誘電体多層膜上へのSNSPD」を作製し動作確認を行った。さらに性能評価実験で明らかになったこととして「波長670-850 nmで80%という高いシステム検出効率」を実現できていることが示された。

これはSNSPDの上記三課題(1)(2)(3)の解決に向けて実質的で重要な一歩を踏み出したものであり、極めて有用性が高く、理想に近い光子検出器の出現という夢に向けて方向付けを行った研究といえる。よって博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。